

· 港口 ·



小江开州港区挖入式港池泥沙模型试验研究*

吴华莉, 周银军, 李志晶, 张玉琴, 程传国

(长江科学院河流研究所, 湖北 武汉 430010)

摘要: 针对挖入式港池普遍存在的淤积问题, 开展泥沙模型试验, 研究不同水沙条件下挖入式港池泥沙淤积规律。结果表明, 大水丰沙年的 1963 年型港池淤积 7.42 万 m^3 , 平均淤积厚度为 $0.4 \sim 0.5 \text{ m}$, 泥沙主要淤积在港池口门附近及原主河道内, 局部可达 1.3 m , 港池内部淤积厚度仅为 $0.1 \sim 0.2 \text{ m}$; 中水中沙年的 1967 年型与 1963 年型淤积规律基本一致, 而淤积强度明显减弱。港池运行 13 a 末, 港区河段全断面均产生淤积, 平均淤积厚度约为 1 m , 局部可达 2 m , 泥沙主要淤积部位保持不变, 港池口门约 60 m 范围淤后高程较高, 小流量低水位时可能产生碍航。港池内 95% 时间水深达 3.45 m , 随着运行年限的增加, 港池内泥沙呈累积性淤积, 港池水深逐渐减小。在山区河道, 利用回水沱建设挖入式港池工程是可行的, 泥沙淤积可控。

关键词: 山区河道; 挖入式港池; 模型试验; 泥沙淤积

中图分类号: U652

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)12-0017-10

Experimental study on sediment model of excavated basin in Xiaojiang Kaizhou port area

WU Huali, ZHOU Yinjun, LI Zhijing, ZHANG Yuqin, CHENG Chuanguo

(Changjiang River Scientific Research Institute River Research Department, Wuhan, 430010, China)

Abstract: Aiming at the problem of sedimentation in excavated basin, sediment model tests are conducted to investigate the siltation patterns of excavated basins under different water and sediment conditions. The results indicate that in the year of heavy water and sand, such as 1963, the sedimentation in the harbor basin reached $74,200 \text{ m}^3$, with the average silting thickness was about $0.4 \sim 0.5 \text{ m}$. Sediment mainly accumulated near the entrance of the harbor basin and within the original main river channel, reaching up to 1.3 m in the local area. However, the sedimentation thickness within the harbor basin was only $0.1 \sim 0.2 \text{ m}$. After 13 years of operation, sedimentation occurred in the whole section of the river, with the average silting thickness was about 1.0 m and up to 2.0 m in some areas. The main areas of sediment accumulation remained unchanged. Specifically, an area of approximately 60 m at the entrance of the harbor basin experienced significant elevation after sedimentation, potentially causing navigation obstacles during periods of low water levels and small flow rates. As the years of operation increases, the sediment in the harbor basin accumulates cumulatively and depth of the harbor basin is gradually decreasing. In the mountainous river, it is feasible to construct excavated basins utilizing backwater eddies, and sediment accumulation can be controlled.

Keywords: mountainous river; excavated basin; model test; sediment accumulation

小江是长江黄金水道一级支流, 连接开州、陕西南的重要水上通道。三峡工程蓄水后, 小江云阳, 并深入内陆腹地, 面向渝东北、川东北、航道水深及航宽普遍增加, 水流平缓, 通行能力

收稿日期: 2025-04-02 录用日期: 2025-04-23

*基金项目: 国家自然科学基金面上项目(52479058); 中央级公益性科研院所基本科研业务费项目(CKSF20241011/HL, CKSF2024988/HL)

作者简介: 吴华莉(1985—), 女, 高级工程师, 从事河流泥沙及河流生态相关研究工作。

全面提升。2013 年,小江白家溪至河口 51 km 航道整治后,航道尺度达到 $3.0\text{ m} \times 60\text{ m} \times 480\text{ m}$ (航道水深 \times 航道宽度 \times 弯曲半径)的Ⅲ级航道尺度标准。开州港区作为小江航道的重要港口基础设施,目前仅有一期工程建成的 1 个散货出口泊位和 1 个件杂货泊位,年通过能力 142 万 t。散货进口只能临时占用件杂泊位卸船,由于水位落差较大,低水期卸船效率十分低下,远不能满足船舶靠离港的需求。

开州港区位于三峡库区常年回水区末端,上游约 19.5 km 处小江上建有乌杨桥调节坝。由于调节坝的拦沙作用,该河段水流含沙量大幅度降低。从影像图来看,开州港区位于回水沱区域,见图 1,这为挖入式港池的修建创造了有利条件。



图 1 开州港区影像

Fig. 1 Image of Kaizhou port area

挖入式港池是利用河汊、洼地、回水沱等开挖出来的港池,能充分综合利用岸线资源,具有掩护条件好、对河道行洪影响小、可合理布置各类泊位等特点^[1-2],国际上一些航运繁忙的河流上应用较多。挖入式港池在我国的应用不多,船舶航行密度大且岸线资源有限的江苏省、湖南省、黑龙江省是目前我国挖入式港池应用较多的地区^[3-4]。关于挖入式港池的研究,目前主要集中在港池布置^[5-7]、港池内水流结构^[8-9]等方面。已有应用实例表明,泥沙淤积问题是挖入式港池普遍存在且需研究的问题之一^[10]。港池口门处的回流及异重流共同引起了港池内的泥沙淤积^[11]。已有研究成果对挖入式港池的水流及泥沙淤积特性有一定的认知,但成果不全面,研究对象基本未涉

及山区河流。山区河流多回水沱,具备挖入式港池天然的建设条件,已有成果一定程度上制约了挖入式港池的规划和设计工作。基于此,本文拟通过河工模型试验方法,以小江开州港区挖入式港池为对象,重点研究山区河流挖入式港池泥沙淤积特性及通航水流条件,旨在为今后山区河流挖入式港池的设计提供依据。

1 工程概况

开州地处长江三峡库区左岸支流小江的末端,位于重庆市东部、万州西北部、大巴山南坡与川东平行岭谷的结合地带。开州区是开州港区的直接腹地,其货物通过开州港区下水,直接运往武汉、宜昌、上海等地。通过开州港区进出口的货物以大宗散货为主,货物运输呈现运量较低、但批次较多的特征。开州港区仅有的一期工程建成 1 个散货出口泊位和 1 个件杂货泊位,散货进口只能临时占用件杂泊位卸船,由于水位落差较大,低水期卸船效率十分低下。随着普里新区的发展以及港口货物流量流向的变化,目前的开州港区功能及通货能力已无法满足后方临港工业的水运需求。在此背景下,提出建设开州港区运行能力提升工程,即新建 4 个 1 000 吨级泊位,其中 2 个散货进口泊位,2 个多用途泊位,设计年通过能力 360 万 t。受可利用岸线长度的限制,同时为充分利用已有岸线的形态,采用挖入式港池的方式布置。

散货进口泊位采用浮码头结构形式,顺小江航道走向布置,从下游往上游依次为 1[#]、2[#]泊位。多用途泊位采用斜坡码头结构形式,顺开州港一期工程上游侧陆域边线,并与散货进口泊位垂直布置,从小江航道往后方陆域依次为 3[#]、4[#]泊位,见图 2。每个散货进口泊位皆通过 1 艘钢质浮趸、2 跨 60 m 活动钢引桥和 1 座 53.75 m 长的皮带机栈桥与后方场地连接。1[#]散货进口泊位活动钢引桥宽 7 m,皮带机栈桥宽 9 m;2[#]散货进口泊位活动钢引桥宽 5 m,皮带机栈桥宽 7 m。每个多用途泊位皆通过 2 条架空缆车斜坡道组成,与后方场

地连接, 架空斜坡道坡度为 1:3.97, 斜坡道坡顶高程 173.3 m, 坡底高程 150.0 m, 水平投影长 94.0 m, 单条斜坡道宽 27.5 m, 检修踏步道位于两条缆车道中间。



图 2 工程平面布置

Fig. 2 Plane layout of the project

港池采用挖入式方案。码头前沿设计河底高程为 140.50 m。为满足进港船舶航行要求, 需进行港池开挖, 开挖港池长 580 m, 宽 305 m, 设计港池底高程为 140.50 m, 预留备淤深度 0.20 m。

根据地质条件, 港池开挖边坡坡比取为 1:2.5 (小江航道附近局部坡比为 1:5), 港池边坡分台阶开挖, 并分别在高程 151.00、159.00、167.00 m 设置 2 m 宽马道。

2 模型设计

2.1 模型参数

根据小江开州港区段河道河势, 模型试验河段上起温家坪, 下迄甘坝子, 全长约 9.5 km, 见图 3。模型平面比尺、垂直比尺均为 1:150。模型沙采用经过筛分、选配的株洲精煤, 该模型沙曾应用于葛洲坝工程泥沙模型、长江三峡工程坝区泥沙模型、巴基斯坦卡洛特水电站坝区泥沙模型等多个模型试验, 性质稳定, 密度 1.33 t/m^3 , 干密度 0.75 t/m^3 。根据模型几何比尺, 按照模型相似准则, 得到模型水流运动及悬移质运动相似比尺, 见表 1。

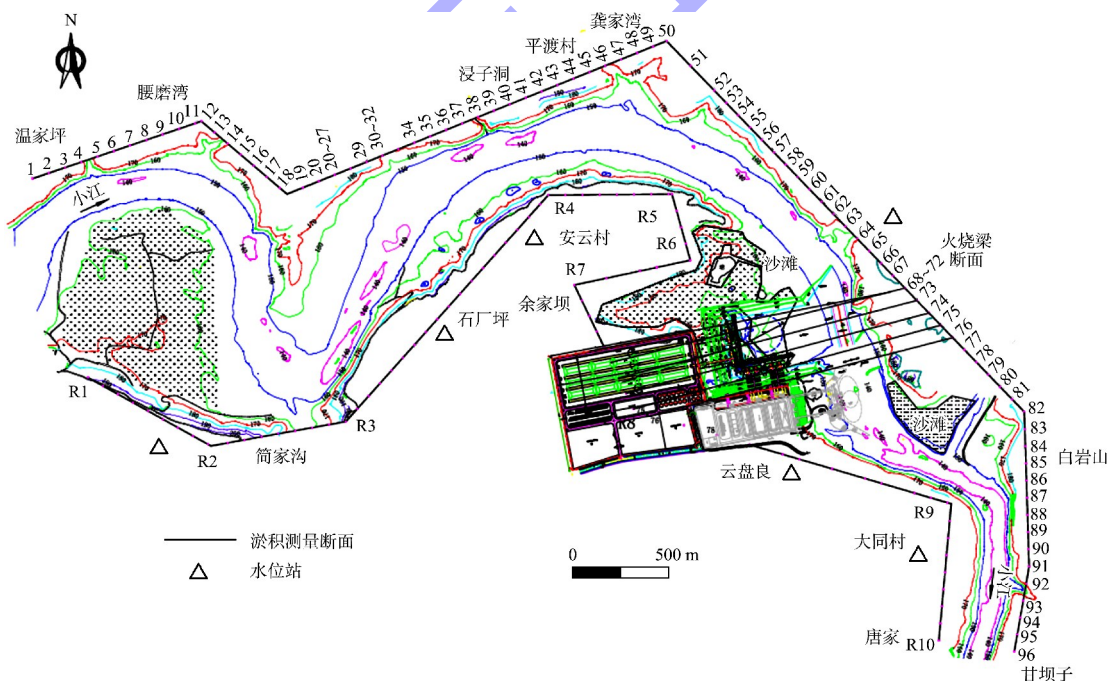


图 3 模型模拟范围

Fig. 3 Model simulation range

表 1 模型设计比尺

Tab. 1 Design scale of model

水流运动相似比尺				悬移质运动相似比尺			
流速	流量	糙率	沉速	粒径	起动流速	含沙量	冲淤时间
12.24	275 000	2.31	12.24	1.5	8.83	1.0	70

2.2 模型验证

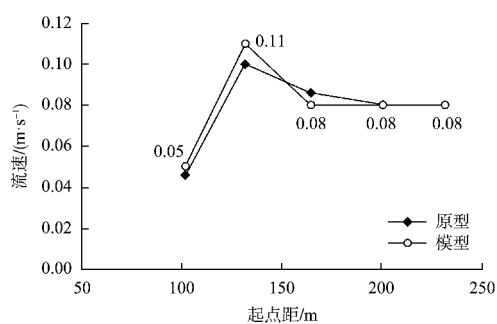
模型采用砾石进行加糙, 通过调整砾石的疏密达到各级水面线相似。模型采用实测资料进行验证, 采用 2019 年 9 月实测水流资料, 小江流量

为 $149 \text{ m}^3/\text{s}$ 。水位验证结果见表 2，流速分布验证见图 4。由表 2 和图 4 可知，模型沿程水位与原型误差在 4 cm 以内；模型沿程断面流速分布与原型基本一致，垂线平均流速误差在 $\pm 10\%$ 以内。

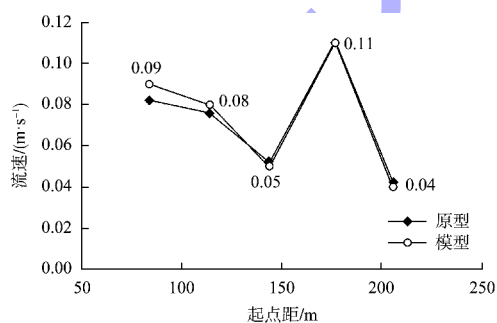
表 2 水位验证结果 (2019 年 9 月)

Tab. 2 Verification results of water level (September 2019)

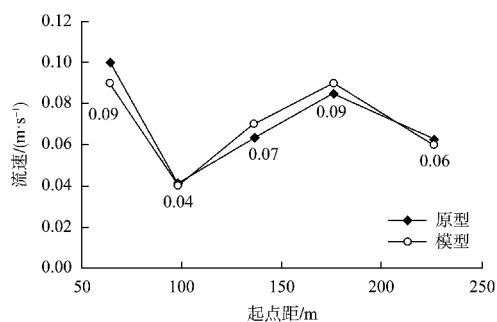
水位站	水位/m		
	原型	模型	差值
简家沟	151.50	151.49	-0.01
石厂坪	151.48	151.52	0.04
安云村	151.45	151.43	-0.02
火烧梁	151.43	151.47	0.04
云盘梁	151.42	151.41	-0.01
大同村	151.40	151.41	0.01



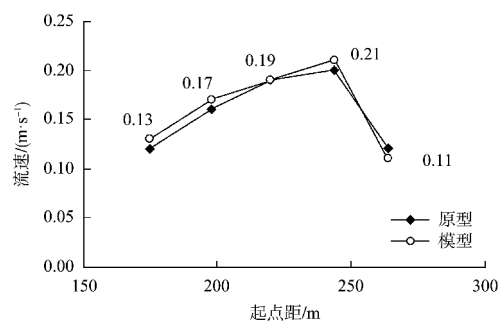
a) 断面1



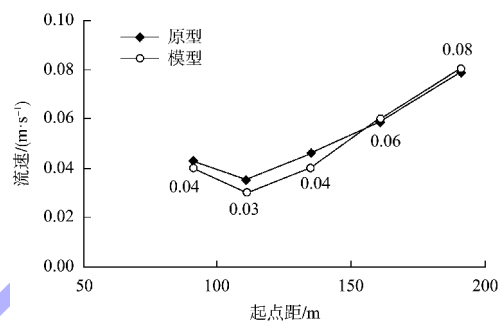
b) 断面2



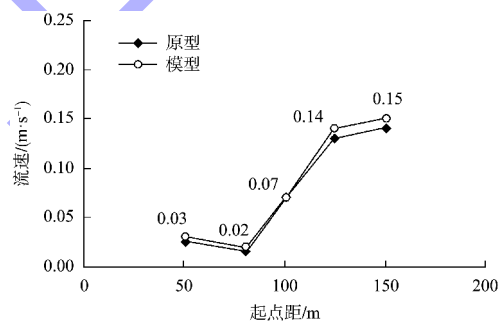
c) 断面3



d) 断面4



e) 断面5



f) 断面6

图 4 流速分布验证结果 (2019 年 9 月)

Fig. 4 Verification results of velocity distribution (September 2019)

考虑到小江现有实测资料流量较小，采用三峡水文水资源勘测局提供的典型洪水资料以及 2012 年 1 月实测洪水资料对模型进行进一步验证。典型洪水流量分别为 $4\ 050$ 、 $7\ 500 \text{ m}^3/\text{s}$ ，2020 年实测洪水流量为 $7\ 293 \text{ m}^3/\text{s}$ 。典型洪水水位验证结果见图 5。2020 年实测洪水水位验证结果见表 3，流速分布验证结果见图 6。模型与原型水面线基本一致，最大误差为 4 cm ，且无系统偏差，该模型基本满足阻力相似。

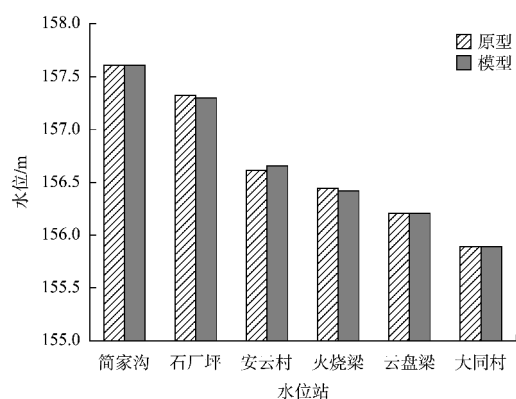
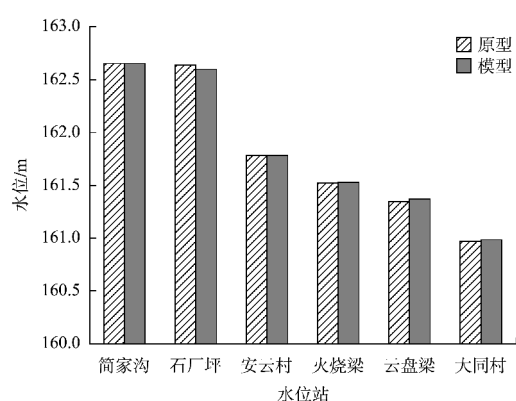
a) $Q=4.050 \text{ m}^3/\text{s}$ b) $Q=7.500 \text{ m}^3/\text{s}$

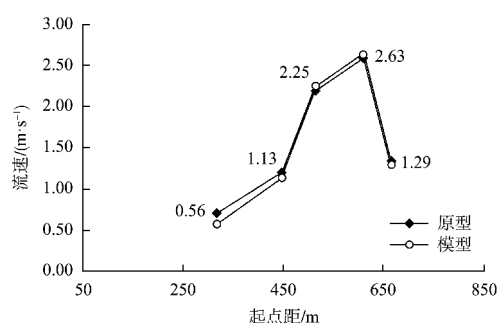
图 5 典型洪水水位验证

Fig. 5 Verification results of typical flood water level

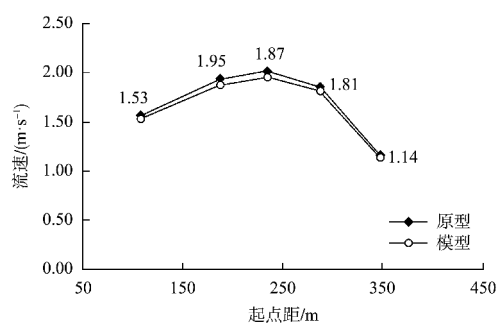
表 3 水位验证结果 (2020 年 8 月)

Tab. 3 Verification results of water level (August 2020)

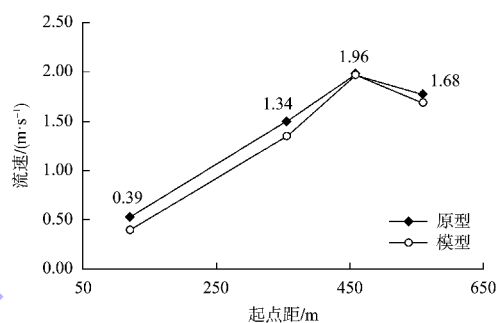
断面号	水位/m		
	原型	模型	差值
91-91	161.78	161.77	-0.01
77-77	161.62	161.65	0.03
55-55	161.35	161.39	0.04
25-25	160.98	161.00	0.01



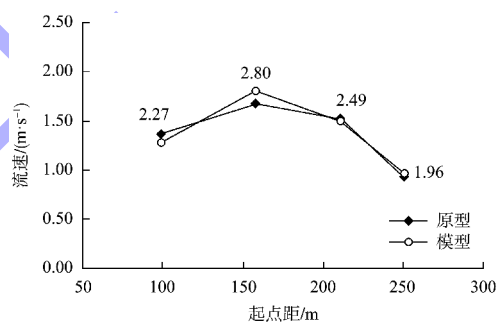
a) 91-91断面



b) 77-77断面



c) 55-55断面



d) 25-25断面

图 6 流速分布验证结果 (2020 年 8 月)

Fig. 6 Verification results of velocity distribution (August 2020)

河床冲淤变形验证试验河段为石厂坪—甘坝子。受小江无系列泥沙测量站点及泥沙资料匮乏的现实情况制约,依据收集到的 2006 年 7 月—2009 年 8 月地形资料进行冲淤变形验证试验,结果见表 4。由表可知,模型与原型冲淤部位基本一致,泥沙淤积与冲刷分布基本吻合,模型设计所采用的含沙量比尺和冲淤时间比尺合理可行。

上述水位、流速分布及河床冲淤变形验证结果表明,模型各项比尺及采用的模型沙是合理的,后续挖入式港池泥沙试验的结果是可靠的。

表 4 地形冲淤验证结果
Tab. 4 Verification results of topographic sedimentation and erosion

河段	原型冲淤量/ 万 m ³	模型冲淤量/ 万 m ³	相对误差/ %
石厂坪—余家坝	3.7	3.5	-5.4
余家坝—大同村	4.9	5.3	8.2
大同村—甘坝子	3.6	3.3	-8.3

2.3 试验条件

工程河段处于三峡水库常年回水区末端。根据已有三峡库区泥沙淤积研究成果,三峡水库按正常蓄水位 175 m 方案运行 80 a,变动回水区泥沙淤积接近平衡,三峡水库运行初期 30 a,变动回水区泥沙淤积发展较快,部分河段泥沙累积淤积量接近淤积基本平衡时泥沙淤积量的 70%。因此,在库区模型试验中,系列年模拟时间一般为三峡工程运行 30 a。模型浑水试验起始地形为 2019 年 9 月实测地形,模型进口断面流量、含沙量和出口断面水位采用一维数模计算成果,水沙典型系列年为 1961—1970 年。

从控制站资料看,1961—1970 年系列水沙特征值接近长系列年平均水沙特征值,具有较好的代表性,曾作为三峡工程泥沙淤积预测的代表性水沙系列。近年来,由于长江干、支流上游减沙较为明显,入库沙量有减少趋势,因而采用原 1961—1970 年系列进行试验,成果可能会偏于安全。长江水利委员会水文局根据 2003—2016 年库区现有站点观测资料,计算得到三峡库区区间来沙年均值为 1 775 万 t^[12],刘尚武等^[13]采用水文学方法估算得到三峡水库区间均来沙量约为 1 754 万 t,两者基本保持一致,约为原系列年平均的 2/3。2012 年,长江水利委员会长江科学院采用同位素示踪法测定,分析认为小江一般年份来沙量约为 270 万 t,该数据甚至小于原系列年的 2/3。为模拟未来工程河段泥沙变化趋势,尽量客观、合理地反映开州港区挖入式港区的运用情况,在本次模型试验中,各典型年来沙量按照原沙量的 2/3 进行模拟。

3 港区泥沙淤积分析

3.1 典型年淤积特点

试验中选用对港区河段淤积较为不利的两种典型年,分别是大水丰沙年的 1963 年型和中水中沙年的 1967 年型。

典型年 1963 年型年末港池淤积 7.42 万 m³,平均淤积厚度为 0.4~0.5 m。泥沙淤积部位不均,泥沙主要在港区外侧港池口门附近及原主河道内落淤,淤积厚度一般为 0.5~0.9 m,局部可达 1.3 m,见图 7;港池内部则淤积强度相对较弱,一般淤积厚度仅为 0.1~0.2 m,见图 8。

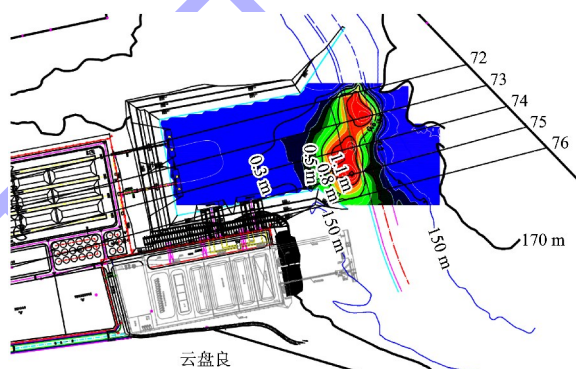
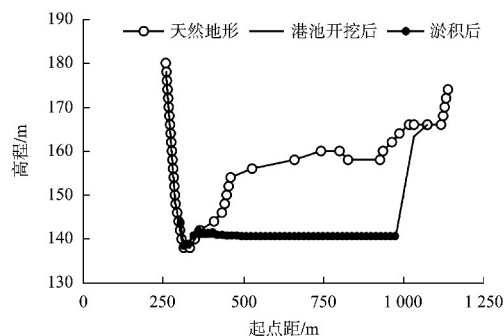
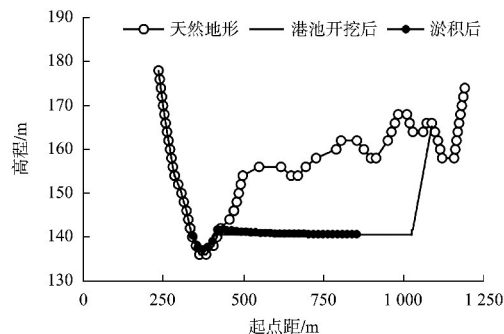


图 7 典型年泥沙淤积平面分布
Fig. 7 Planar distribution of sediment accumulation in typical year



a) 72-72断面



b) 73-73断面

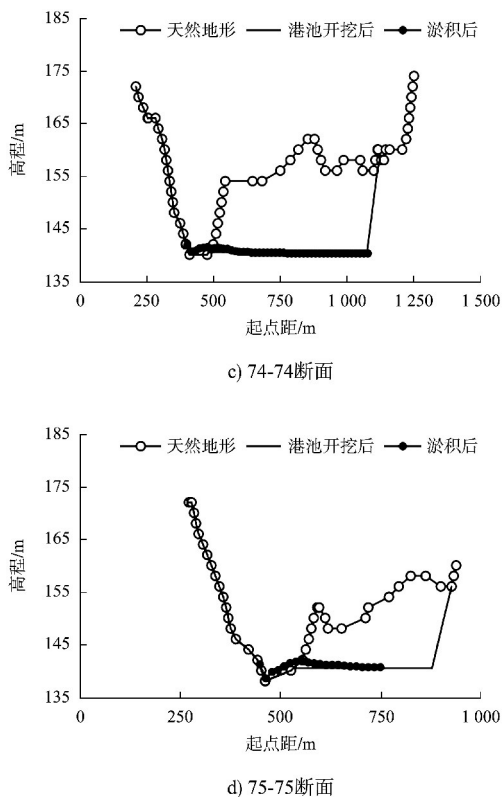


图 8 典型年泥沙淤积断面分布

Fig. 8 Cross-sectional distribution of sediment accumulation in typical year

典型年 1967 年型与 1963 年型淤积规律基本一致, 而淤积强度则明显减弱, 年末港池淤积 3.64 万 m^3 , 平均淤积厚度仅约 0.2 m 。泥沙淤积部位与 1963 年型基本一致, 泥沙主要在港池外的原主河道内落淤, 淤积厚度一般为 $0.2 \sim 0.4 \text{ m}$, 局部可达 0.7 m ; 港池内部则淤积强度相对较弱, 一般淤积厚度为 0.1 m 以内。从淤积分布看, 由于港区前沿开挖, 流速减缓, 泥沙主要落淤在原河道深槽内, 该典型年末, 原河道主槽内河床高程仍低于港池底板高程 (140.5 m), 进港航道仍保持畅通。

典型年试验结果表明, 三峡建库初期, 港区河段遇一般中水中沙水文年份, 港区及航道条件得以维持, 但遇丰沙年, 特别是 1963 年型的丰沙年, 港池口门附近淤积相对较大, 若退水较快, 遇较低水位时, 局部会有碍航情况发生。

3.2 系列年淤积特点

3.2.1 总体冲淤特性

2003 年, 三峡水库下闸蓄水, 由于初期蓄水

位较低, 工程河段水位抬高也较小, 因此, 该河段的泥沙淤积量较天然情况增加不大。

2009 年起, 三峡水库进入试验蓄水期 ($175 \text{ m}-145 \text{ m}-155 \text{ m}$), 该河段处于水库常年回水区末端, 受三峡水库回水影响较大。在三峡水库正常蓄水运行初期, 该河段汛期水位较天然情况抬高 $2.0 \sim 4.0 \text{ m}$; 枯水期水位较天然情况最大抬高超过 30 m ; 在三峡水库运行中、后期, 该河段汛期水位较天然情况抬高 $5.0 \sim 10.0 \text{ m}$ 。三峡水库正常运行后, 该河段水位较天然情况抬高较多, 河道水面比降变缓, 河道流速减小。在三峡水库正常运行初期, 该河段汛期流速值明显减小; 在三峡水库运行中、后期, 河段汛期平均流速值可减小 1.0 m/s 以上, 枯水期河段平均流速值最大可减小 2.0 m/s 以上, 因此该河段悬移质泥沙大量落淤。同时, 受水库蓄水调度的影响, 该河段的走沙规律发生改变, 由原来的汛期淤积、汛后冲刷、年内冲淤平衡, 改为汛期淤积、汛后少量走沙, 即受水库蓄水影响走沙停止, 整个走沙期历时较建库前缩短, 走沙强度也较建库前减弱。由此可见, 三峡水库运行中后期, 该河段悬移质淤积很严重, 泥沙呈累积性淤积, 泥沙主要淤在河床较宽的边滩、弯道凸岸和凹岸的缓流区, 在河道较窄段则沿断面普遍淤积, 随着水库运行年限的增长, 河道淤积逐渐向下游发展。从试验过程可以看出, 三峡运用初期 30a 过程中, 泥沙淤积呈累积性, 初期淤积速率相对较快, 其后逐步趋缓。系列年试验过程见图 9。



图 9 系列年试验过程

Fig. 9 Experiment process under the conditions of consecutive years

3.2.2 泥沙淤积分布

三峡水库运行 30 a 末(挖入式港池运行 13 a 末),该河段累计淤积量约为 67.1 万 m^3 ,其中,港区上游河段累计淤积量约为 25.6 万 m^3 ,工程段累计淤积量约为 15.1 万 m^3 ,其余为港区以下至尾门大同村河段累计淤积量。

从河道泥沙淤积分布看,该河段的泥沙淤积部位主要是在卡口上游放宽河段的边滩、弯曲段的凸岸边滩,岸线凹陷的回流区,如港区上游与弯道间的凸岸边滩及港区下游至峡口间的沱内淤积较为集中。水库运行 30 a 末(挖入式港池运行 13 a 末),港区河段全断面均产生淤积,平均淤积厚度约为 1 m。泥沙淤积部位分布不均,泥沙主要淤积在港区外侧港池口门附近及原主河道内,淤积厚度一般可达 1.5 m,局部可达 2 m,但最大淤积主要分布在原河道深槽内,淤积后航道水深仍可保持;仅港池口门约有 60 m 范围淤后高程较高。系列年泥沙淤积断面分布见图 10,在水库运用 30 a 末遇小流量低水位时可能产生碍航,应提前进行清淤处理;港池内部则淤积强度相对较弱,大部分区域淤积厚度在 0.7 m 以下。

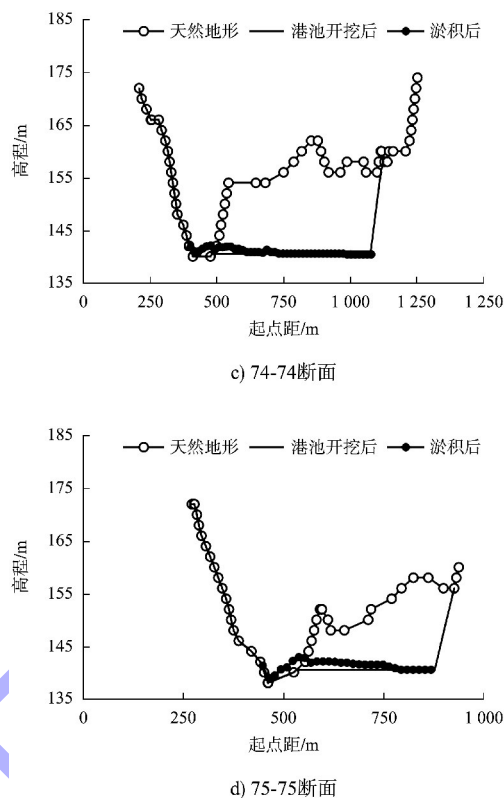
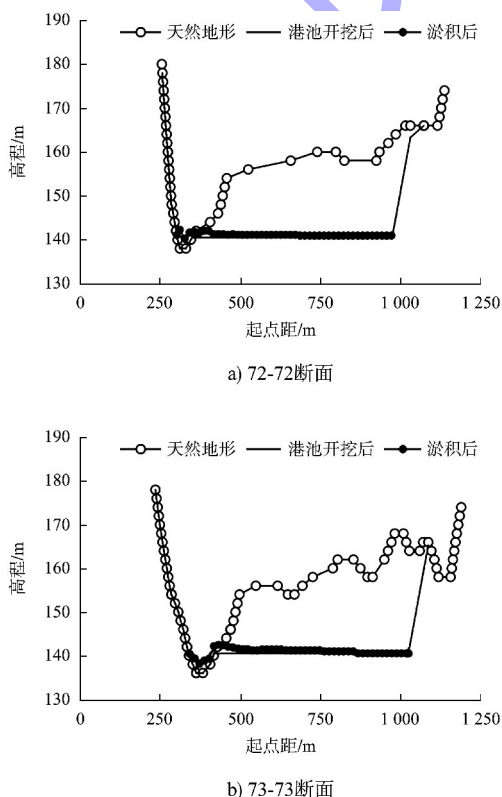


图 10 系列年泥沙淤积断面分布

Fig. 10 Cross-sectional distribution of sediment accumulation in consecutive years

3.3 港池泥沙淤积预测

挖入式港池河段位于弯道之间的相对顺直段、三峡库区常年回水区末端。根据前期的河演分析成果,该河段宽窄相间,断面形态基本一致,多呈 V 字形,断面冲淤变化主要是主槽和边滩中低水部分。三峡蓄水初期,该河段滩地有所淤积,一般表现为淤滩冲槽。

挖入式港池河段横断面变化见图 11,港池附近河道总体上主槽以冲刷为主。港池所在断面主槽略有淤积,幅度约为 0.35 m/a ,港池所在右岸岸线稳定。该河段位于三峡水库常年回水区末端,未来随着三峡水库运行年限的增长,港池局部的泥沙淤积将逐渐减弱。港池局部河段位于小江下游,距离河口约 50 km,河段泥沙主要来源于流域内的紫色土侵蚀和暴雨引发的滑坡、泥石流。近年来,随着小江上游水土保持工程的实施,目前年均输沙量由三峡建库前的 200 万~300 万 t 减少

至 50 万~100 万 t。上游来沙的减少将进一步减弱港池局部的泥沙淤积。

根据实测资料及模型试验成果, 同时结合来沙情况, 综合分析认为, 港池局部河段淤积主要发生在主槽区域, 随着三峡水库的继续运用, 港池局部泥沙淤积将减缓。

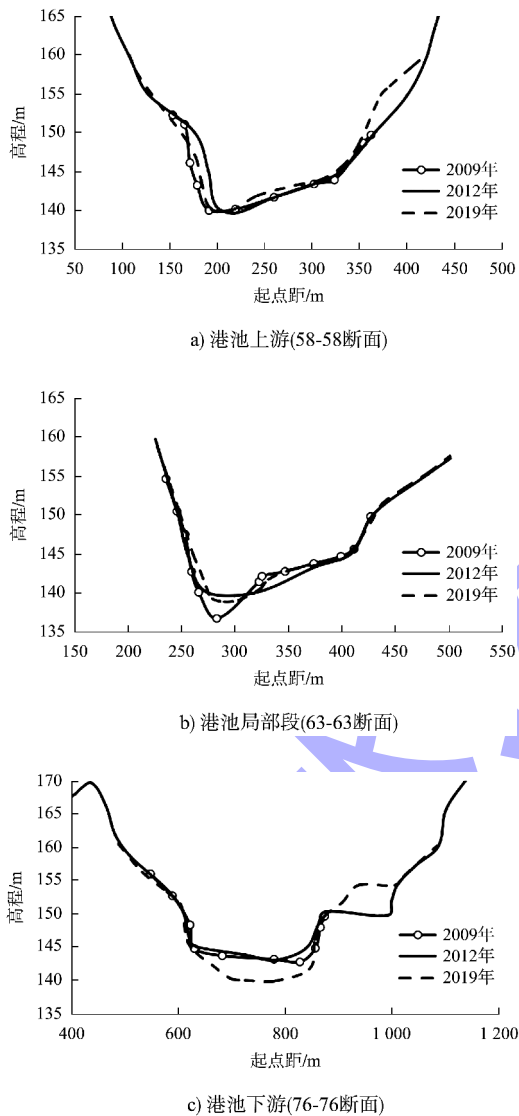


图 11 挖入式港池河段横断面变化

Fig. 11 Cross-section variation in river section of excavated basin

3.4 港池水深变化分析

根据前述内容可知, 港池建成后, 港池内将产生累积性淤积, 但不同典型年淤积情况有较大差别。从运用时间看, 港池运用初期 2~3 a 淤积

速率较明显, 其后淤积速率则逐步趋缓。港池淤积厚度达到一定程度将影响港区作业, 为确保港池水深满足船舶进港及停靠的要求, 需寻找合理方案及时机进行疏浚治理。根据港区所处河段的特点, 可结合港区运用条件及三峡水库调度方式初步判断。

根据小江一维数学模型计算成果, 三峡运行第 2~3 个 10 a (2013—2032 年) 白家溪河段不同水位出现频率见图 12。

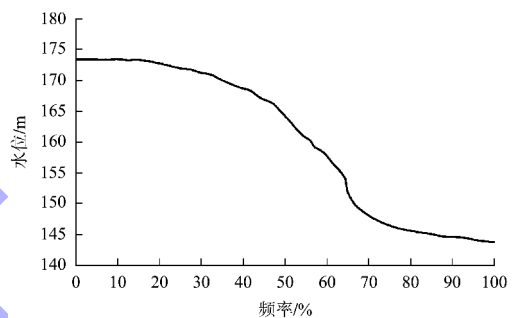


图 12 白家溪河段不同水位重现率
Fig. 12 Recurrent frequency of different water levels in Baijiaxi river section

白家溪河段水位 143.5 m, 港池开挖至 140.5 m 后, 可以保障有 3 m 水深; 95% 保证率时水位 143.95 m, 港池水深为 3.45 m; 90% 保证率时水位 144.38 m, 港池水深为 3.85 m; 85% 保证率时水位 144.74 m, 港池水深为 4.24 m。从以上数据看, 港池建成后, 可保障 95% 时间有 3.45 m 水深, 随着运行年限的增加, 河床淤积, 港池水深减小。从试验结果看, 运行初期淤积较为明显, 后期淤积逐步减缓, 港池运行后, 若遇 1963 年型大水丰沙年, 港区前沿淤积约 7.42 万 m^3 , 除开滩地淤积, 港池内平均淤积厚度约为 0.4 m, 但口门附近泥沙淤积相对集中, 港池外沿淤积可达 0.6~1.8 m, 港池淤积后局部高程达 141.1~142.3 m, 会形成碍航。根据水位重现率情况, 港池 3.0 m 水深运行水位保证率降低 10% 左右, 此时需要根据情况及时进行清淤治理。

4 结论

1) 模型试验平面比尺和垂直比尺均为 1:150。模型沿程水位与原型误差在 4 cm 以内且无系统误差,流速分布与原型基本一致,模型满足阻力相似的要求。模型与原型冲淤部位基本一致,泥沙淤积与冲刷分布基本吻合,模型所采用的含沙量比尺和冲淤时间比尺合理可行。采用该河工模型对小江开州港区挖入式港池修建前后水流及泥沙淤积情况进行模拟的结果是可靠的。

2) 典型年泥沙淤积试验表明,大水丰沙年的 1963 年型末港池淤积 7.42 万 m^3 ,平均淤积厚度为 0.4~0.5 m。泥沙主要在港区外侧港池口门附近及原主河道内落淤,淤积厚度一般为 0.5~0.9 m,局部可达 1.3 m;港池内部淤积强度相对较弱,一般淤积厚度仅为 0.1~0.2 m。典型年 1967 年型与 1963 年型淤积规律基本一致,淤积强度则明显减弱。

3) 系列年泥沙淤积试验表明,挖入式港池运行 13 a 末,港区河段全断面均产生淤积,平均淤积厚度约为 1 m。泥沙仍旧主要淤积在港区外侧港池口门附近及原主河道内,淤积厚度一般可达 1.5 m,局部可达 2 m,但最大淤积主要分布在原河道深槽内,航道水深仍可保持;港池口门约有 60 m 范围淤后高程较高,小流量低水位时可能产生碍航,应及时进行清淤处理。

4) 挖入式港池局部河段淤积主要发生在主槽区域,随着三峡水库的继续运行,港池局部泥沙淤积将减缓。在山区河道,利用回水沱建设挖入式港池工程是可行的,泥沙淤积可控。

参考文献:

- [1] 黄敬东,尹长虹,彭再华.国内挖入式港池布置研究[J].水运工程,2011(9):136-140.
- HUANG J D, YIN C H, PEGN Z H. Arrangement of excavated-in harbor basin in China[J]. Port & waterway engineering, 2011(9): 136-140.
- [2] 许英,刘国龙,杨玉龙.挖入式港池泥沙淤积及减淤措施试验研究[J].中国港湾建设,2008(1):31-33.
- XU Y, LIU G L, YANG Y L. Experimental study on sedimentation and silt-relieving measures in dig-in basins[J]. Chinaharbour engineering, 2008, 28(1): 31-33.
- [3] 崔程.不同河型挖入式港池三维水动力及泥沙落淤机理分析研究[D].重庆:重庆交通大学,2020.
- CUI C. Analysis and study on three-dimensional hydrodynamic force and sediment deposition mechanism of different river dug in basins [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2020.
- [4] 韩时琳,赵利平,贺晖.我国内河挖入式港池现状分析[J].水运工程,2003(4):43-45.
- HAN S L, ZHAO L P, HE H. Current situation analysis of China inland excavated-in basin [J]. Port & waterway engineering, 2003(4): 43-45.
- [5] 李晓铤,陈有文,郑斌.大型挖入式港池布局要点分析[J].水运工程,2006(S1):68-70.
- LI X C, CHEN Y W, ZHENG B. Analysis on layout for large excavated-in harbor basin [J]. Port & waterway engineering, 2006(S1): 68-70.
- [6] 王立铎,谷文强.突堤间港池或挖入式港池宽度设计方法研究[J].中国水运,2017,17(7):200-203.
- WANG L D, GU W Q. Study on design method of width of harbor basin or excavated harbor basin between jetties[J]. China water transport, 2017, 17(7): 200-203.
- [7] 杨春平,陈涛,孙士勇.大型挖入式布局的港池设计要素推算方法[J].水运工程,2019(11):20-23.
- YANG C P, CHEN T, SUN S Y. Estimation method of design wave parameters for large dig-in harbor basin[J]. Port & waterway engineering, 2019(11): 20-23.
- [8] 王家会,李岩,袁月平,等.挖入式港池水流特性数值模拟[J].人民黄河,2009,31(6):36-37,41.
- WANG J H, LI Y, YUAN Y P, et al. Numerical simulation of flow characteristics in excavated harbor basin [J]. Yellow River, 2009, 31(6): 36-37, 41.
- [9] 刘培,王华,黄力.挖入式港池水体交换的数值模拟研究[J].人民珠江,2014,35(1):23-28.
- LIU P, WANG H, HUANG L. Numerical simulation study of lvs side bar dredged harbor basin's water exchange[J]. Pearl River, 2014, 35(1): 23-28.

(下转第 105 页)